

DESCRIPCIÓN DE ETAPAS EN DISEÑO Y REALIZACIÓN DE TURBINA PARA RÍO DE LLANURA DE TIPO GORLOV.

C. Maché¹, G. Gareis², J. Stivanello³, W. Ceparo⁴, F. Cuestas⁵

Laboratorio de Energías Alternativas – Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Paraná
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Paraná – Almafuerte 1033 C.P. 3100 – Entre Ríos
Tel: 0343-4243054/4243694 – Fax: 0343-4243589 e-mail: lea.utn.parana@gmail.com

RESUMEN: Lo que se pretende con el presente trabajo es la descripción de las etapas del procedimiento para reproducir y fabricar el prototipo de una turbina de río de llanura tipo Gorlov. La misma forma parte de un sistema que permitirá la generación de energía eléctrica a partir de la energía cinética de un cauce de agua, como es el caso del Río Paraná. El objetivo es dar a conocer los avances logrados respecto a la construcción del sistema completo. Como no se han realizado pruebas de campo, el informe no especifica datos en este sentido, limitándose a presentar solamente los referidos a los de tipo teórico.

Palabras clave: Turbina tipo Gorlov, perfil alar.

INTRODUCCIÓN

La energía proporcionada por los ríos es una de las más utilizadas para obtener trabajo mecánico y a partir de éste, energía eléctrica.

Actualmente, la tecnología más comúnmente utilizada es el empleo de turbinas en lugares donde el agua es retenida por medio de diques y canalizada a través de tuberías haciendo uso de la energía potencial de la misma.

Una alternativa o forma no convencional para la generación de electricidad, es el uso de la energía cinética y no potencial de los ríos. De este modo, se pretende lograr un avance significativo en relación a los impactos ambientales, de manera que con micro-turbinas hidrocinéticas de tipo Gorlov no sería necesario alterar drásticamente el ecosistema como lo hacen las represas.

En la región litoral del país, se encuentra el Río Paraná, una de las cuencas hídricas más importante del mundo. Por este motivo, se pretende aprovechar sus características como recurso inagotable para la generación de energía eléctrica.

El Río Paraná es un río de llanura. Debido a que el caudal (aprox. 17.300 [m³/s]) es relativamente constante durante todo el año, su velocidad resulta ser análogamente constante. Esta velocidad constante puede verse directamente reflejada en el movimiento mecánico a partir del cual se obtiene la energía eléctrica; de modo que el sistema de traducción de energía mecánica-eléctrica presenta mínimas variaciones y simplificaciones importantes. Otra ventaja y quizá la de mayor relevancia, es que el río fluye las 24 [hs] del día a diferencia de otros tipos de obtención de energía limpia como ser la solar que solo se encuentran presentes parcialmente durante el día.

El uso de este sistema promete contribuir a la solución de una problemática social que se presenta en la región litoral del país, donde existen pequeñas comunidades costeras, así como escuelas y hospitales flotantes. Estas muchas veces carecen de energía eléctrica proveniente de la red, por tal motivo se desea desarrollar un sistema económico y no contaminante capaz de solucionar el problema.

TURBINA HIDROKINETICA DE TIPO GORLOV - GENERALIDADES

La turbina helicoidal de Gorlov es una turbina de eje vertical que consta de dos o más álabes con sección de perfil alar y dispuestos helicoidalmente desarrollándose a lo largo de una superficie imaginaria cilíndrica de rotación. Con este diseño se asegura que exista en todo momento una parte del álabe orientado a un posible ángulo de ataque, incluyendo una sección a un ángulo óptimo para asegurar la elevación sobre el perfil alar y así el continuo giro de la turbina. Además, las secciones de los álabes se distribuyen uniformemente a través del ciclo de rotación. De esta manera, la suma de las fuerzas de la elevación y de fricción en cada lámina no cambia precipitadamente con el ángulo de la rotación. Esto se refleja en un giro más homogéneo, obteniendo menor vibración para altas velocidades y junto a la simplicidad estructural, es la clave de su buen rendimiento.

¹ Ingeniero Electromecánico. Director del Proyecto

² Becario Laboratorio Energías Alternativas

³ Becario Laboratorio Energías Alternativas

⁴ Becario Laboratorio Energías Alternativas

⁵ Becario Laboratorio Energías Alternativas



Fig. 1: Turbina de Gorlov de 3 álabes.

ETAPAS EN EL DISEÑO TEORICO

El primer paso tomado fue realizar un trabajo de recopilación bibliográfica en relación al principio de funcionamiento de la turbina, diseño y formas de utilización de la misma. Se presentó un inconveniente, escasa información en cuestión de diseño; el cual se resolvió con un trabajo de ingeniería inversa realizado a la turbina en cuanto a su diseño. El diseño de un primer prototipo, se realizó en un software de diseño y simulación 3D, para luego obtener los planos correspondientes en 2 y 3 dimensiones para su posterior construcción.

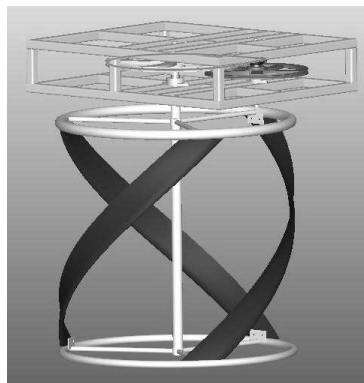


Fig. 2: Vista tridimensional de turbina diseñada con software CAD

Se necesita determinar la relación de transmisión para obtener las revoluciones necesarias del generador. Con la potencia eléctrica estimada, se determina la fuerza que se requiere del río para mover y proveer dicha potencia, o se determina mediante la ley hidráulica la potencia eléctrica, estimando la sección de la turbina. La velocidad del río Paraná en estas zonas es de 5 a 7 Km/h, o aproximadamente de 1 a 2 m/s, dependiendo de la altura del río.

Cálculos numéricos: datos importantes:

Velocidad promedio del río:	v	=	1 a 2	[m/s]
Radio de la turbina rotor:	$R1$	=	0,50	[m]
Radio estimado de la polea mayor:	$R2$	=	0,475	[m]
Radio polea al eje del generador:	$R4$	=	0,025	[m]

Ecuaciones necesarias: Para determinar las RPM , de la turbina, se recurre al índice TRS (Tip-Speed-Ratio) que establece la relación entre la velocidad del río (Va) y la velocidad de la turbina (Vi). Este índice, varía de 0,2 a 10 dependiendo el tipo de turbina y la velocidad del río. En nuestro caso, micro turbina y río lento, los valores se ubican en un rango que va entre 0,2 y 2. La turbina de Gorlov, tiene un rendimiento de 35% basado en el estudio de rendimientos de turbinas, realizado por Betz, el cual es función de la velocidad de entrada y salida del fluido.

$$\text{Velocidad periférica} \quad v_t : \frac{R_2 \cdot n \cdot \pi}{30} \triangleright n : \frac{v_r \cdot 30}{R_2 \cdot \pi}$$

$$\text{Relación de transmisión} \quad \frac{n_1}{n} : \frac{R_2}{R_4}$$

$$\text{Velocidad de generador} \quad n_1 : \frac{n \cdot R_2}{R_4}$$

Las expresiones, para determinar las RPM, que pueden proporcionar el río y la turbina son:

$$n : \frac{v_r \cdot 30}{\pi \cdot R_1} : \frac{v_r \cdot 30}{3,14 \cdot 0,6} : 16 \text{ a } 32 \text{ rpm} \quad \text{Entre las velocidades de 1 y 2 (m/s)}$$

que estimamos del río, las revoluciones indicativas pueden ser:

$$n_{11} : \frac{n \cdot R_2}{R_4} : \frac{16 \cdot 0,6}{0,03} : 319 \text{ rpm}$$

$$n_{1,5} : \frac{n \cdot R_2}{R_4} : \frac{24 \cdot 0,6}{0,03} : 478 \text{ rpm}$$

$$n_{12} : \frac{n \cdot R_2}{R_4} : \frac{32 \cdot 0,6}{0,03} : 637 \text{ rpm}$$

Esquema del sistema:

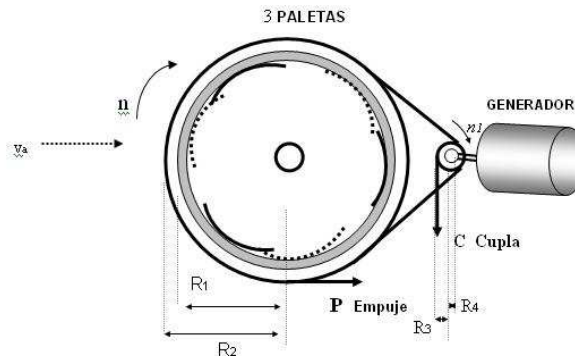


Fig. 3: Esquema de conversión y transmisión mecánica de la energía

A modo de ejemplo, se obtiene varias opciones de revoluciones para el generador (n_1). Lo importante, es conocer en que valores rondan las revoluciones de la turbina y el generador, posteriormente se definirá la construcción del sistema de poleas, el cual dependerá directamente de los elementos que se encuentran en el mercado.

ECUACIÓN HIDRÁULICA:

El índice de Betz, para turbinas de eje vertical de flujo abierto, como es la de tipo Gorlov, el rendimiento es de 35% aproximadamente.

Según la ley de potencia para turbinas, se obtienen resultados similares a los anteriores:

Peso específico del agua:	Cf	=	1000	[kg/m³]
Velocidad del río:	Vr	=	1 a 2	[m/seg]
Rendimiento del sistema:	β	=	0,35 . 0,85 . 0,95	(turbina) . (poleas) . (generador)
Sección estimada:	S	=	1	[m²] (1 m de diámetro x 1 m de alto o ancho)

Determinamos una potencia Hidráulica:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot C_f \cdot S \cdot v^3 \cdot \beta \quad [W]$$

$$Q = \frac{1}{2} \cdot 1000 \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 1 \left[m^2 \right] \cdot 3,375 \left[m^3 \right] \cdot 0,29 = 489,375 \quad [W]$$

DISEÑO DE LOS ÁLABES

Para el diseño de los álabes se realizó un estudio de los perfiles alares y su sustentación. Clasificándolo al diseño, dentro de los perfiles NACA (National Advisory Committee for Aeronautics). El perfil adoptado para la realización del prototipo fue un NACA 0010. Este es un perfil biconvexo simétrico, y se calculó con una cuerda de 220mm. Este tipo de perfil obtiene menor rendimiento que uno de tipo biconvexo disimétrico, pero los primeros son mucho más estables que los disimétricos, esto se debe a que el centro de empuje se ubica al 25% de la cuerda de manera constante, mientras que en los disimétricos este varía. En nuestro caso, se prescinde de un porcentaje de rendimiento para obtener mayor estabilidad y evitar vibraciones.

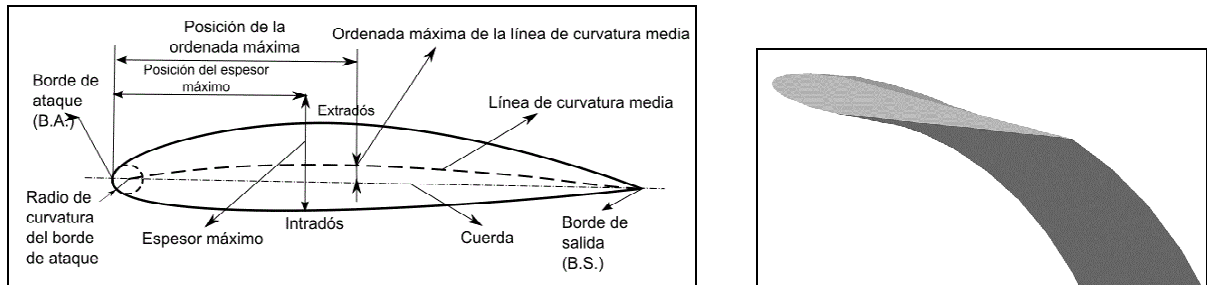


Fig. 4: (izq) Geometría de un perfil alar. (der) Sección transversal del álabes diseñado.

Con los planos ya disponibles se comenzó con las tareas de búsqueda de proveedores y mano de obra para la construcción de la turbina. No es un detalle menor ya que en cualquier proyecto es necesario contar con material y mano de obra presentes en el país, sobre todo en el caso en el que se desea lograr un producto que tenga posibilidades de inserción en el mercado nacional. La parte más crítica en este sentido son los álabes que poseen un perfil alar helicoidal. Para esto fueron consultados diferentes talleres y artesanos de los cuales se sabía podían tener las capacidades necesarias para la construcción de las partes. En todo momento el objetivo fue la búsqueda de proveedores locales.

Habiéndose localizado a la persona que pudiera realizar estas tareas, un constructor de aviones y aeroplanos. Se procedió a la construcción de la matriz y tres álabes de fibra de vidrio. La mayor ventaja es que si se quiere realizar una producción en serie, una de las partes más complejas se resuelve con mano de obra regional.



Fig. 5: Matriz del perfil alar helicoidal NACA0010 realizado en madera.

Paralelamente a la construcción de los álabes, se realizó el sistema de conversión y transmisión de la energía, compuesto por un juego de poleas y un generador eléctrico.

La construcción fue derivada a talleres metalúrgicos de la ciudad y todos los materiales fueron comprados en la localidad de Paraná.



Fig. 6: Prototipo de turbina con sistema de poleas adosado

Se decidió agregar a la estructura una tobera la cual debería mejorar el rendimiento de la turbina al aumentar la velocidad del agua. Esta es articulada, por lo se podrá variar el ángulo de apertura durante el ensayo, pudiendo obtener la forma óptima de la misma.

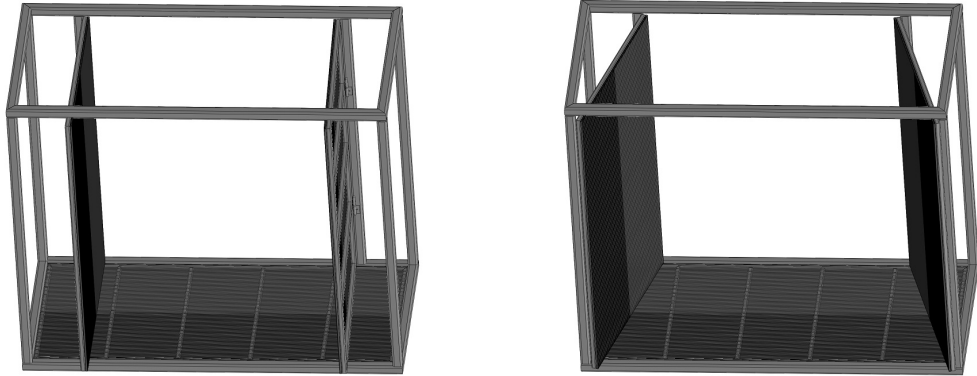


Fig. 7: A la izquierda la tobera con máxima apertura. A la derecha con los deflectores paralelos.

Habiéndose concluido con la construcción estructural del soporte y anclaje de poleas, se presento como principal inconveniente el definir un lugar óptimo para realizar ensayos en el río. La medición y determinación de parámetros es una etapa necesaria para la obtención del rendimiento del sistema. Por esta razón y para independizarse del lugar, se concluyó en diseñar una estructura modular que sea capaz de transportar la turbina remolcándola, y así pueda ser sumergida en el río a través de una rampa para embarcaciones y transportada mediante una embarcación a motor hasta un sitio de prueba.

La estructura debe poseer flotadores modulares para mantener parte del sistema a flote y demás componentes que permitan el estudio del comportamiento de la turbina en diferentes situaciones. Habiéndose definido estas especificaciones se diseñó un sistema versátil y de fácil manejo que incluye los componentes antes indicados.

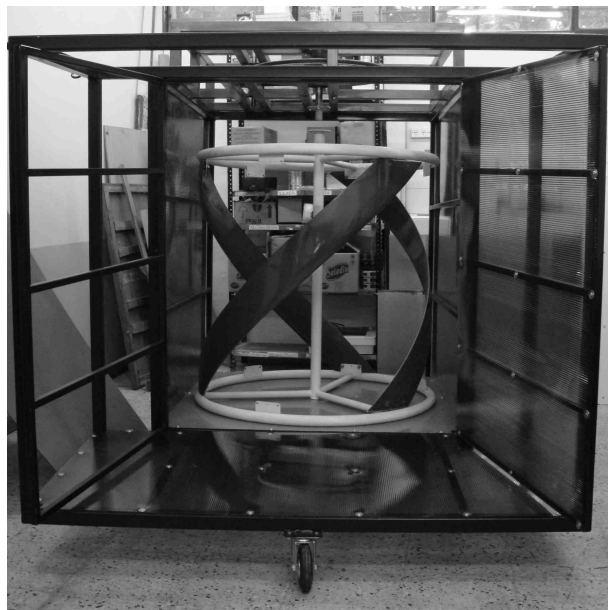


Fig. 8: Primer prototipo del sistema completo: conjunto turbina – tobera

PRUEBAS Y MEDICIONES

Para poder realizar mediciones durante el ensayo en el río, se ha diseñado un equipo electrónico microcontrolado que será adosado a la estructura en un gabinete estanco (grado de hermeticidad IP65). Este equipo estará sensando en tiempo real las siguientes variables:

- *Velocidad de giro de la turbina:* Este parámetro será medido por un transductor inductivo acoplado directamente a la polea montada sobre el eje de la turbina. Los sensores inductivos son muy utilizados en la industria y poseen como principal característica la robustez, la cual es necesario en este caso, por ser un sistema que será probado en el río a la intemperie. Con este transductor se podrá obtener las RPM (revoluciones por minuto) de la turbina.

- *Parámetros eléctricos:* El equipo de medición cuenta con entradas analógicas directamente acopladas a la salida del generador de corriente continua. Sensa la corriente y la tensión sobre los bornes del generador. Con estos parámetros se puede saber la potencia eléctrica que está entregando el generador a la carga.

NOTA: Como carga del sistema se utilizarán lámparas de distinta potencia con tensión de continua de 12 [V].

El sistema electrónico desarrollado por alumnos de la facultad, al ser microcontrolado es de gran versatilidad. Cuenta con supervisión de parámetros, avisos de alarma por fallas en cuanto a cortocircuitos, trabado mecánico de la turbina, etc. Posee un módulo transmisor de datos inalámbrico. Esto es una gran ventaja, porque se podrá supervisar los datos desde la costa sin estar en una embarcación cerca de la turbina, lo que proporciona gran comodidad. Una vez recogidos los datos, estos serán almacenados en una PC para su posterior análisis cuantitativo.

OBJETIVOS A CUMPLIR

Como objetivo principal se tiene el ensayo de la turbina en la costa del Río Paraná, donde se realizarán los estudios principalmente del rendimiento de la turbina y de la generación de potencia real. Pudiendo así llegar a la conclusión de la viabilidad de este proyecto.

DATOS TÉCNICOS:

Tipo de turbina	De eje vertical, tipo Gorlov
Cantidad de palas	3
Diámetro del rotor	1m
Altura del rotor	1m
Material de álabe	Fibra de vidrio, con pintura epoxídica
Ángulo de salida	43°
Material estructura	Acero SAE 1045
Tipo de perfil alar	NACA 0010 (biconvexo simétrico)
Cuerda de perfil alar	220mm
Diámetro polea conductora	950 mm
Diámetro polea conducida	50mm
Relación de elevación	19
Tipo de polea	Plana
Tipo de generador	Generador de imanes permanentes
Cantidad de pares de polos	6
Potencia	750 W
POTENCIA TEÒRICA	489 W

CONCLUSIONES

La presencia de importantes ríos de llanura en el noreste Argentino, permite implementar en esta zona especialmente, turbinas tipo Gorlov, las cuales se adaptan de manera especial y, con el agregado de un generador eléctrico de bajas rpm, obtener energía eléctrica de forma limpia, constante y económica.

Todo el sistema podrá ser usado como generación de electricidad de gran utilidad en lugares aislados, carentes de conexión a red sobre las zonas costeras, islas del río y sus afluentes donde se encuentran por ejemplo, escuelas flotantes. El proyecto se encuentra actualmente en la fase de construcción del primer prototipo.

El sistema será probado en los meses de septiembre – octubre del corriente año en la costa del Río Paraná, para obtener datos experimentales de los parámetros relevantes del sistema y obtener conclusiones sobre el mismo.

Los resultados de los ensayos realizados serán de gran importancia, ya que se sabrá si este diseño de turbina tiene una aplicación productiva en las costas de nuestros ríos. Creemos que la potencia obtenida con este prototipo no llegará a la potencia teórica calculada anteriormente (489 W), pero se pondrá en estudio las necesarias correcciones, para tratar de llegar a la misma.

BIBLIOGRAFÍA

<http://www.gcktechnology.com/GCK/pg2.html>

GORLOV, Alexander. Helicoidal turbine assembly operable under multidirectional gas and water flow for power and propulsion systems. US Patent 6,155,892 Northeastern University, 2000

GORLOV, Alexander: Unidireccional Helical reaction turbine operable under reversible fluid flow for power systems, Boston, 1995

DARRIEUX, Georges J. M. Turbine having its rotating shaft transverse to the flow of the current. US Patent number 1,835,018 filed in 1931

http://en.wikipedia.org/wiki/Gorlov_helical_turbine

MALDONADO, Francisco: Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazan región de Loreto, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, 2005

Informe final del proyecto Turbina de Río en la amazonía, un proyecto demostrativo, ITDG, Lima – Perú, 1999.

Proof of Betz's Law ? <http://www.windpower.dk/stat/betzpro.htm>

VÁSQUEZ LEIVA, Mauricio, "DISEÑO DE UNA TURBINA EÓLICA DE EJE VERTICAL CON ROTOR MIXTO", VALDIVIA - CHILE 2007

ABSTRACT

The aim with this paper is to describe the procedural steps to reproduce and manufacture the prototype of a lowland river Gorlov kind turbine. It forms part of a system that allows the generation of electricity from the kinetic energy of a waterway, such as the Parana River. The aim is to show the progress made in regard to the construction of the entire system. As there have been no field tests, the report does not specify data in this sense, limited to submit only those related to the theoretical type.

Keywords: Gorlov type turbine, airfoil.